2Г

УДК 519.816

***Г.В. Горелова*[1]*, Э.В. Мельник*[2]*, Я.С. Коровин*[2]**
[1]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»
Технологический институт в г. Таганроге, Россия
[2]НИИ Многопроцессорных вычислительных систем им. акад. А.В. Каляева,
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»
Технологический институт в г. Таганроге, Россия,
g.v.gorelova@gmail.com, evm@mvs.tsure.ru

Когнитивный анализ, синтез, прогнозирование развития больших систем в интеллектуальных РИУС

Представлены концептуальные основы когнитивной методологии, которая может быть положена в основу разработки интеллектуальных систем. Рассмотрены возможности анализа, синтеза, прогнозирования развития ситуаций в больших системах (социотехнических, социально-экономических и т.п.). Для практической реализации процедур когнитивного моделирования предложено использовать отказоустойчивые распределенные информационно-управляющие системы (РИУС), позволяющие оперативно решать задачи большой сложности.

Введение

Целью исследования, результаты которого представлены в данной статье, было рассмотрение возможности прогнозирования и когнитивного синтеза моделируемых структур сложных систем с заданными свойствами при использовании данных когнитивного анализа.

Основными задачами, которые необходимо было решить, являются следующие: определение системных задач когнитивного анализа и определение (разработка) методов их решения; определение элементов, из которых может быть синтезирована система с желаемыми свойствами; разработка основ методологии когнитивного моделирования сложных систем, позволяющей проводить их анализ и синтез; разработка программного обеспечения.

«Сложная» или «большая» («large-scale systems» [1]) система является распространенным понятием. Во-первых, для больших систем характерно огромное количество элементов, связей и взаимодействий между элементами, но этого признака не достаточно. Существенным является сложность структуры, образованной этими элементами – многослойная, иерархическая и т.п. Довольно часто слабые взаимодействия повышают сложность системы. Во-вторых, это динамика системы, сложность ее поведения, возможно, даже непредсказуемость его. В-третьих, это присущие таким системам закономерности [2], которые пока не все изучены до конца: закономерности взаимодействия частей и целого (целостность, интегративность); закономерности иерархической упорядоченности систем (коммуникативность, иерархичность) – эта группа закономерностей тесно связана с закономерностью целостности, с расчленением целого на части, взаимодействием системы с окружающей средой, т.е. надсистемой, и подчиненными системами; закономерности функционирования и развития систем (историчность, са-

моорганизация); закономерности осуществимости систем (эквифинальность, закон необходимого разнообразия, потенциальная эффективность). В-четвертых, это присущие таким системам проблемы: слабоструктурированные и неструктурированные (системы со структурированными проблемами менее относятся к сложным, чем другие). Как известно, слабоструктурированные проблемы характеризуются наличием как качественных, так и количественных элементов. Неопределенные, не поддающиеся количественному анализу закономерности, зависимости, признаки, характеристики имеют тенденцию доминировать в этих проблемах. К этому классу проблем относится большинство наиболее сложных проблем экономического, социального, технического, политического, военно-стратегического и т.п. характера. «Слабоструктурированность» относится скорее к информационной составляющей – степени информированности лица, принимающего решение (эксперта, аналитика).

В последнее десятилетие получает все большее распространение когнитивный анализ для исследования больших систем, функционирующих в условиях неопределенности разного рода, а также для управления развитием ситуаций в этих системах. В этом направлении активно работают коллективы ученых в ИПУ РАН, г. Москва [3-9], также в Технологическом институте Южного федерального университета, г. Таганрог [10-14]. Целью когнитивного анализа больших систем является или выяснение механизма функционирования системы (механизма явлений и процессов, происходящих в системе), или прогнозирование развития системы, или управление системой, или определение возможностей приспособления субъекта к существующей системе, или решение всех названных задач. При этом вопросы когнитивного синтеза пока отдельно не рассматривались, хотя результаты когнитивного анализа сложных систем фактически выводят исследователя на результаты, которые можно интерпретировать как синтез систем с желаемыми свойствами [11-14].

Основой разрабатываемой методологии когнитивного моделирования [10-14] является системный подход к изучению сложных систем [2] и опора на когнитивные способности эксперта (группы экспертов) в предметной области. При этом немало внимания уделяется «риску человеческого фактора», существующего как в реальных системах при принятии решений, так и в процессе их моделирования человеком [9]. Процесс познания (когниции) большой системы с помощью разработанного инструментария включается в метамодель исследования объекта [11], [12].

Во многом при разработке когнитивной методологии для анализа сложных систем были использованы идеи, заложенные в работах [1-9], [15-19].

Все названные особенности когнитивной методологии позволяют отнести ее к интеллектуальным технологиям, на основании которых возможна разработка интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

Таким образом, развитие когнитивной методологии видится в направлении разработки методов когнитивного синтеза и разработки интеллектуальных информационно-управляющих систем, в которых содержатся интеллектуальные модули, построенные на основе этой методологии [12-14] и использующие принципы распределенных многопроцессорных вычислительных систем [20]. При проектировании таких систем предлагается использовать преимущества РИУС – распределенных информационно-управляющих систем [13], [14].

В первом разделе статьи кратко приводятся сведения о когнитивной структуризации знаний экспертов, разработке когнитивных моделей, импульсном моделировании возможных сценариев развития ситуаций на когнитивных моделях, устойчивости, топологическом анализе свойств связности систем [1], [3-19], что необходимо для представ-

ления когнитивной методологии и пояснения идеи задачи синтеза. Второй раздел содержит некоторые результаты когнитивного анализа простых структур. В третьем разделе представлена схема когнитивной методологии.

1 Основные задачи и модели когнитивного моделирования

В настоящее время под *когнитивным моделированием* понимаем решение взаимосвязанных системных задач когнитивного анализа и синтеза.

I. Когнитивный анализ: разработка когнитивной модели; анализ путей и циклов когнитивной модели; анализ наблюдаемости и управляемости системы; анализ устойчивости и возможности катастроф; сценарный анализ; анализ сложности и связности системы; анализ чувствительности; анализ возможностей адаптации и самоорганизации; прогнозирование; принятие решений экспертом.

II. Когнитивный синтез. На основе данных когнитивного анализа производится решение задач декомпозиции и композиции модели, решение обратных задач, оптимизация, синтез системы с заданными свойствами: из простых когнитивных структур, путем декомпозиции или достраивания исходной структуры; принятие решений.

Опишем только самые необходимые для пояснения идей когнитивного моделирования задачи, модели и методы.

Разработка когнитивной модели сложной системы чаще всего начинается с построения когнитивной карты – знакового ориентированного графа (1), которая получается путем структуризации знаний эксперта (экспертов) о предметной области на основе теоретических представлений, статистических данных, применения различных экспертных методов [3], [7]:

$$G = \langle V, E \rangle . \tag{1}$$

Более сложные когнитивные модели – это векторный параметрический граф, параметрический векторный функциональный граф $Ф_п$, модифицированный функциональный граф и др. [3], [5], [9], [18], [19]

$$\Phi_n = \langle G, X, F, \theta \rangle . \tag{2}$$

В формулах (1) и (2): $V = \{v_i\}$, $i = 1,2,\ldots,k$ – множество вершин когнитивной карты, $E = \{e_{ij}\}$ – множество дуг, соединяющих вершины v_i и v_j, $X = \{x_i\}$ – множество параметров вершин, $F = f\{v_i,v_j,e_{ij}\}$ – функция (или функционал $f\{v_i,v_j,e_{ij}\}$, или коэффициент f_{ij}) связи между вершинами, θ – пространство параметров вершин. Модели (2) соответствует матрица отношений (3)

$$A_G = \begin{array}{c|cccccc|} & V_1 & V_2 & \ldots & V_j & \ldots & V_m \\ V_1 & 0 & 1 & \ldots & b_0 + b_j x_j & \ldots & 1 \\ V_2 & -1 & 0 & \ldots & 1 & \ldots & 1 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ V_i & 0 & f(v_i, v_j, e_{ij}) & \ldots & ax^j & \ldots & 1 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ V_m & -1 & f_{ij} & \ldots & 1 & \ldots & 0 \end{array} . \tag{3}$$

При разработке когнитивной модели в виде (2) часть ее (подграф) может быть построена по статистическим данным об объекте.

Сценарный анализ системы проводится на модели поведения системы путем импульсного моделирования. Формула импульсного процесса [1], [4], [7], [18], [19] имеет вид:

$$x_i(n+1) = x_i(n) + \sum_{j=1}^{k-1} f_{ij} P_j(n) + Q_i(n), \quad (4)$$

где $x_i(n)$ – величина импульса в вершине i в предыдущий момент (такт моделирования) (n), $x_i(n+1)$ – в интересующий исследователя $(n+1)$; f_{ij} – коэффициент преобразования импульса; $P_j(n)$ – значение импульса в вершинах, смежных с вершиной i; $Q_i(n)$ – вектор возмущений и управляющих воздействий, вносимых в вершину i в момент n. Набор реализаций импульсных процессов – это «сценарий развития», указывает на возможные тенденции развития ситуаций. Ситуация в импульсном моделировании характеризуется набором всех Q и значений X в каждом такте моделирования.

Решение задач устойчивости. Устойчивость – понятие многоаспектное. В исследованиях социально-экономических систем термин «устойчивость» обозначает очень многое, не всегда четко определенное (устойчивость финансовой системы, устойчивость организации). В теории управления техническими системами понятие «устойчивость» определяется четко, разработаны критерии устойчивости системы («устойчивость по Ляпунову» и др.). Рассматривают два аспекта понятия «устойчивость»: устойчивость системы под воздействием внешних возмущений при фиксированной структуре системы, т.е. когда изменяется только внешняя среда, и устойчивость поведения системы при изменениях структуры системы – структурная устойчивость (малые изменения в структуре системы вызывают малые изменения в ее динамике). Для анализа устойчивости системы по возмущению и начальному значению исследуются корни характеристического уравнения матрицы отношений графа (1). Анализ структурной устойчивости связан с анализом циклов прямой и обратной связи в когнитивной карте и, как показали исследования [11], с топологической структурой графа.

Топологический (или полиэдральный) анализ структуры сложной системы – это анализ ее q-связности [1], [11], [15-17], состоящий в анализе симплициальных комплексов.

В полиэдральном анализе система рассматривается в виде отношения между элементами конечных множеств – множества вершин V и заданного семейства непустых подмножеств этих вершин – симплексов σ. Множества вершин и соответствующих им симплексов образуют симплициальные комплексы K. Для их построения используется структура системы, заданная в виде графа $G = \langle V, E \rangle$, $V = \{v_i, v_j\}$, $E = \{e_{ij}\}$, $i,j = 1,2,\ldots k$, которая служит основанием для геометрического и алгебраического ее представления как симплициального комплекса. Любое отношение λ в системе представляется таким образом, что множество элементов, относимых к конкретному элементу v_i (вершине, концепту графа), трактуется как симплекс $\sigma^{(i)}$, а их совокупность образует симплициальный комплекс K. Таким образом, симплициальный комплекс получается путем разбиения некоторого пространства X на пересекающиеся подмножества. Для корректного осуществления перехода от структуры системы в виде графа G к ее симплициальному представлению K, что является ключевым моментом в полиэдральном (симплициальном) анализе, эксперту (исследователю, аналитику) необходимо задать множество вершин V симплициального комплекса $V = \{X, Y\}$ и определить некоторое отношение или правило, согласно которому исходное множество вершин будет разбито на множество непустых пересекающихся подмножеств – симплексов. Формальный переход от структуры системы, заданной в форме графовой модели, к ее

модели в виде симплициального комплекса не составляет труда. Пусть построена когнитивная карта некоторой сложной системы в виде ориентированного графа $G = <V, E>$, матрица отношений которого $A_G = [a_{ij}]$. Если для конкретных целей полиэдрального анализа сложной системы достаточно изучения отношений в модели G, т.е. набор (матрица A_G) отношений a_{ij} можно считать соответствующим набору отношений λ_{ij}, интересующих исследователя, то структура модели Λ, исследуемой методом полиэдрального анализа, задается тем же графом G.

Граф отражает непосредственное влияние переменных x_i на y_j в соответствующих вершинах матрицы Λ, взаимодействие между элементами (подсистемами) x_i и y_j будет определяться недиагональными элементами матрицы. Симплекс обозначим $\delta^{(i)}{}_{\rho}$, где i – номер вершины, а ρ – геометрическая размерность симплекса. Число ρ определяется числом дуг, соединяющих вершины y_j в симплексе через переменную x_i. Число ρ (число дуг, инцидентных y_j) на единицу меньше числа единиц («1») в соответствующей i-строке матрицы Λ. (Если в строке матрицы Λ отсутствуют 1, то размерность «пустого» симплекса обозначим: $\rho = 0 – 1= –1$.) Совокупность всех таких симплексов образует симплициальный комплекс $K_x(Y;\lambda)$. Существует также симплициальный комплекс $K_y(X,\lambda^*)$, в котором X – множество вершин, а Y – множество симплексов (строится по столбцам матрицы λ). Иногда комплекс $K_y(X,\lambda^*)$ может быть более содержательным, чем $K_x(Y,\lambda)$.

Поскольку симплициальный комплекс – это семейство симплексов, соединенных посредством общих граней (в том числе общей вершиной – точкой), то характеристикой связности может служить размерность грани, общей двум симплексам. Но поскольку существует комплекс как целое, то для анализа связности используется понятие «цепь связи». Цепь связи отражает возможность того, что два симплекса, непосредственно не имея общей грани, могут быть связаны при помощи последовательности промежуточных симплексов.

Показано, что q-связность порождает отношение эквивалентности на симплексах комплекса K, поэтому задача изучения глобальной структуры связности комплекса К сводится к изучению q-классов эквивалентности. Для каждого значения размерности $q = 0, 1, 2,\ldots, dim\ K$ можно определить число различных классов эквивалентности Q_q. Существует определение: q – анализом симплициального комплекса K называется операция определения числа его различных классов эквивалентности, а вектор $Q = \{Q_{dim\,K}, \ldots, Q_1,Q_0\}$ – первым структурным вектором комплекса. Если два симплекса в K связаны, то они также q-1, q-2, 0 – связаны в комплексе K. Q_0 дает число несвязных компонент K. Информация, содержащаяся в векторе Q, отражает в определенной степени глобальную структуру комплекса K. Для того чтобы два симплекса σ_i и σ_j принадлежали одной q-связной компоненте комплекса K, необходимо наличие связывающей σ_i и σ_j цепи промежуточных симплексов, такой, чтобы низшее по размерности звено имело размерность большую или равную q.

Прогнозирование. Основным отличием прогнозирования и его результата – прогноза, полученного с помощью когнитивной модели, является то, что он характеризует тенденцию развития процессов в системе, точнее, различные возможные тенденции развития (следствия) при гипотетических изменениях факторов или их сочетаний (причины) в моделируемом будущем, а не значения численных показателей, которые получены путем обработки данных об уже совершившихся процессах. Такое прогнозирование скорее можно назвать научным предвидением, ответом на вопрос «а что будет, если…?». Но задача прогнозирования с помощью когнитивных моделей может быть

поставлена по-другому, если при построении когнитивной модели в основном опираться на численно представленные результаты наблюдений над объектом (статистические данные). Тогда можно сопоставлять и сравнивать результаты прогнозов, полученных статистическими методами и методом импульсного моделирования на когнитивных картах.

Следуя подходу, который можно считать общим при построении любой модели и использования ее в качестве прогнозной, предлагается действовать по нижеследующей схеме:

1. Разработка когнитивной модели в соответствии с имеющейся количественной и качественной информацией.
2. Моделирование сценариев (методом импульсного моделирования) на основе разработанной когнитивной модели, отражающих возможное развитие ситуаций в системе – прогнозирование развития ситуаций.
3. Сравнение результатов моделирования с наблюдаемыми данными.
4. Синтез другой когнитивной структуры, если не наблюдается совпадения результатов наблюдений с прогнозируемыми.

Когнитивный синтез. Может быть два основных подхода к построению системы с заданными свойствами. Систему можно конструировать из некоторых более простых элементов (из простых когнитивных структур) и путем декомпозиции или достраивания уже существующей структуры (по результатам анализа чувствительности системы). В данной статье рассматривается первый подход.

Схема действий при этом следующая:

1. Задание свойств системы в виде желаемой тенденции развития (импульсного процесса) и желаемых топологических свойств (свойств связности), которые характеризуют и другие свойства системы (устойчивость, адаптируемость и др.).
2. Выбор критериев соответствия синтезированной структуры желаемым свойствам.
3. Выбор простых когнитивных структур, из которых конструируется более сложная структура.
4. «Склеивание» вершинами, ребрами, гранями простых структур по определенным правилам, вытекающим из их свойств.
5. Анализ чувствительности полученной модели к вариациям параметров, внутренним и внешним воздействиям, импульсное моделирование, сравнение с желаемыми характеристиками, принятие решений.

2 Анализ простых когнитивных структур и импульсных процессов на них

Результаты исследований структур когнитивных карт должны способствовать синтезу систем с желаемыми свойствами. Проведем исследование чувствительности когнитивной структуры к малым вариациям ее составляющих: изменениям числа вершин и дуг, их соединяющих, а также направлениям дуг и изменениям знаков. Вопрос об определении понятия «малая вариация» предварительно решается каждый раз индивидуально.

Будем рассматривать влияние вариаций структуры по двум результирующим признакам: по характеру изменений импульсного процесса и по изменениям свойства q-связности. Рассмотрим, как могут меняться эти свойства при переходе от структуры к структуре по определенным правилам. С этой целью введем ряд определений. Выделим на когнитивных картах структурные элементы, которые назовем *элементарными.* Это структуры типа «цепь» и «звезда».

Пусть n – число дуг, g – число дуг одной направленности, k_g – число групп дуг одной направленности, $h = 2$ – число знаков («+» или «–») над дугами. На рисунках дуги со знаком «+» изображаются сплошными линиями, со знаком «–» – пунктиром. В зависимости от числа дуг, их знаков, числа групп дуг могут быть различные варианты элементарных структур. Так, если имеем структуру «цепь», у которой $n = 2$ и возможны все сочетания знаков над ними, то количество вариантов таких структур $N = n^h = 2^2 = 4$.

Элементарные структуры могут быть объединены в более сложные группы. Но если число составляющих элементарных структур в группе невелико, их можно считать «простыми». Комбинации элементарных структур образуют структуры, которые назовем *простыми*, если они объединяют не более 4 элементарных.

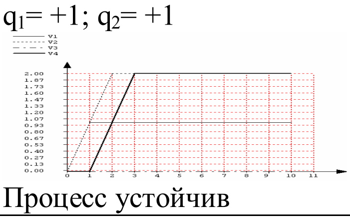
Заметим, что структура типа «треугольник» G_m может быть образована комбинацией цепи и звезды. Возможны варианты простых структур, которые могут быть получены путем комбинации различных треугольников. Возможны три варианта соединения – вершинами, ребрами, вершинами и ребрами. Соединение через вершину образует «звезду» из треугольников (назовем это соединение структурой «песочные часы»), соединения треугольников ребрами («два треугольника»), вершинами и ребрами («конверт»). Комбинации направления дуг и знаков над ними порождают другие варианты названных структур.

Комбинации множества элементарных и простых структур порождают разнообразные когнитивные карты, которые могут отражать определенное направление исследований конкретной предметной области. В процессе исследования простых структур были рассмотрены различные комбинации направлений дуг, их знаков, весовых коэффициентов ω_{ij} и вершин, в которые подаются сигналы (импульсы). Полный перебор всех вариантов разумен только на элементарных структурах. Для сложных структур необходимо разрабатывать планы исследований, сочетающие формальные методы построения планов эксперимента и экспертный отбор реалистичных вариантов, в целях существенного сокращения перебора вариантов. Исследования элементарных структур и обнаруженные при этом закономерности служат для решения задач сокращения перебора. В табл. 1 сгруппирован ряд результатов импульсного моделирования, топологического анализа и анализа устойчивости простых структур.

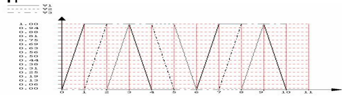
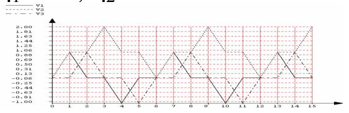
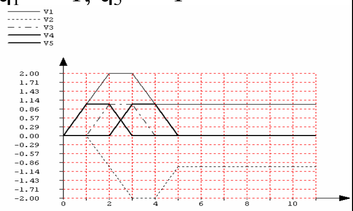
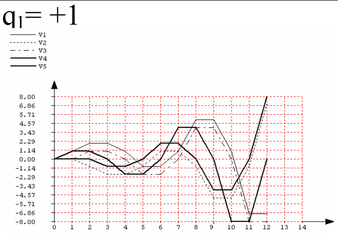
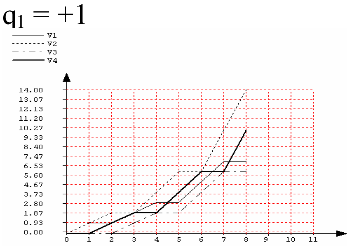
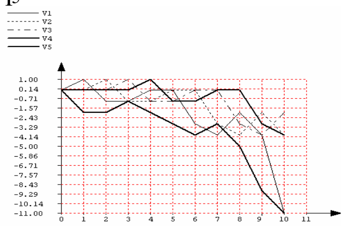
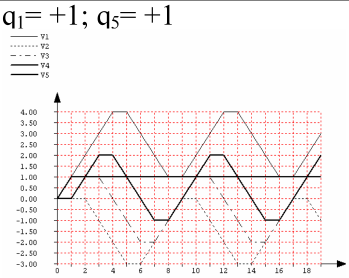
Когнитивный анализ вышеназванных структур позволил выдвинуть ряд важных утверждений относительно вариаций возмущающих импульсов и элементарных вариаций структуры [11].

Нарастание сложности простой когнитивной структуры, проявляющееся в количестве и способах объединения элементарных структур, не приводит к большому разнообразию характера импульсных процессов.

Таблица 1 – Сводные данные когнитивного анализа простых структур [11]

Когнитивная структура	Симплициальный комплекс	Импульсный процесс	Структурный вектор
1.Звезда – цепь $A_G = \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ Через вершину	$K_x(Y,\lambda)=\{\delta^{(1)}_0, \delta^{(2)}_0, \delta^{(3)}_0, \delta^{(4)}_{-1}\}$; $\sigma(x_1) = \{y_2\}$; $\sigma(x_2) = \{y_4\}$; $\sigma(x_3) = \{y_2\}$; $\sigma(x_4) = \varnothing$	$q_1 = +1$; $q_2 = +1$  Процесс устойчив	$Q_x = \{1\}$ $r = 0$; $Q_0 = 1$, $\{y_1, y_2, y_3\}$ комплекс К несвязный

Продолж. табл. 1

2. Треугольник – устойчивый цикл $A_G = \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ Через вершины	$K_x(Y,\lambda)=\{\delta^{(1)}{}_0, \delta^{(2)}{}_0, \delta^{(1)}{}_0\}$ $\sigma(x_1) = \{y_3\}$; **${}^{(-)}\sigma(x_2) = \{{}^{(-)}y_1\}$;** $\sigma(x_3) = \{y_2\}$. имеет ***один*** **${}^{(-)}\sigma(x_2)$** симплекс	$q_1 = +1$  $q_1 = +1$; $q_2 = +1$  Процесс устойчив	$Q_x = \{1\}$ $r = 0$; $Q_0=1$ $\{y_1,y_2,y_3\}$ комплекс К несвязный
4.2. «Песочные часы» – устойчивый цикл $A_G = \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ Через вершины	$K_x(Y,\lambda)=\{\delta^{(1)}{}_0, \delta^{(2)}{}_0, \delta^{(3)}{}_0, \delta^{(4)}{}_0, \delta^{(5)}{}_1\}$; **${}^{(-)}\sigma(x_1) = \{{}^{(-)}y_2\}$;** $\sigma(x_2) = \{y_5\}$; $\sigma(x_3) = \{y_4\}$; $\sigma(x_4) = \{y_5\}$; $\sigma(x_5) = \{y_1\}$ Имеет ***один*** **${}^{(-)}\sigma(x_1)$**	$q_1 = +1$, $q_5 = +1$  Процесс устойчив	$Q_x = \{1\ 1\}$, $r = 1$; $Q_1=1$, $\{y_1, y_3\}$, $r = 0$; $Q_0 = 4$, $\{y_1, y_3\},\{y_2\},\{y_5\},\{y_4\}$ комплекс К связный
4.3. «Песочные часы» – неустойчивый цикл $A_G = \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ Через вершины	$K_x(Y,\lambda)=\{\delta^{(1)}{}_0, \delta^{(2)}{}_0, \delta^{(3)}{}_0, \delta^{(4)}{}_0, \delta^{(5)}{}_1\}$; **${}^{(-)}\sigma(x_1) = \{{}^{(-)}y_2\}$;** $\sigma(x_2) = \{y_5\}$; **${}^{(-)}\sigma(x_3) = \{{}^{(-)}y_4\}$;** $\sigma(x_4) = \{y_5\}$; $\sigma(x_5) = \{y_1\}$ Имеет **два** **${}^{(-)}\sigma(x)$**	$q_1 = +1$  Процесс неустойчив	$Q_x = \{1\ 1\}$, $r = 1$; $Q_1=1$, $\{y_1, y_3\}$, $r = 0$; $Q_0 = 1$, $\{y_1, y_3, y_2, y_4, y_5\}$ К связный
5.1. «Два треугольника» – неустойчивый цикл $A_G = \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ Через грань	$K_x(Y,\lambda)=\{\delta^{(1)}{}_0, \delta^{(2)}{}_0, \delta^{(3)}{}_0, \delta^{(4)}{}_1\}$; $\sigma(x_1) = \{y_2\}$; $\sigma(x_2) = \{y_4\}$; $\sigma(x_3) = \{y_2\}$; $\sigma(x_4) = \{y_2, y_3\}$;	$q_1 = +1$  Процесс неустойчив	$Q_x = \{1\ 1\}$, $r = 1$, $Q_1 = 1$, $\{y_2, y_3\}$, $r = 0$; $Q_0=2$, $\{y_2, y_3\},\{y_4\}$ К связный
6.1. «Конверт» $A_G = \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ Вершины и грани	$K_x(Y,\lambda)=\{\delta^{(1)}{}_0, \delta^{(2)}{}_1, \delta^{(3)}{}_1, \delta^{(4)}{}_1, \delta^{(5)}{}_0\}$; $\sigma(x_1) = \{y_2\}$; $\sigma(x_2) = \{y_3, y_5\}$; $\sigma(x_3) = \{y_4, y_5\}$; $\sigma(x_4) = \{y_1, y_5\}$; $\sigma(x_5) = \{y_1\}$	$q_5 = -2$  Процесс неустойчив	$Q_x = \{3\ 1\}$, $r = 1$; $Q_1=3$, $\{y_3, y_5\},\{y_4, y_5\},\{y_1, y_5\}$, $r = 0$; $Q_0 = 1$, {все} К несвязный
6.2. «Конверт» – устойчивый цикл $A_G = \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ Вершины и грани	$K_x(Y,\lambda)=\{\delta^{(1)}{}_0, \delta^{(2)}{}_0, \delta^{(3)}{}_0, \delta^{(4)}{}_0, \delta^{(5)}{}_3\}$; **${}^{(-)}\sigma(x_1) = \{{}^{(-)}y_2\}$;** $\sigma(x_2) = \{y_3\}$; $\sigma(x_3) = \{y_4\}$; $\sigma(x_4) = \{y_1\}$; $\sigma(x_5) = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}$ Имеет ***один*** **${}^{(-)}\sigma(x_1)$**	$q_1 = +1$; $q_5 = +1$  Процесс устойчив	$Q_x = \{1\ 1\ 1\ 1\}$, $r = 3$; $Q_1=1$, $\{y_1, y_2, y_3, y_4\}$, $r = 2$, $Q_2 = 1$, $\{y_1, y_2, y_3, y_4\}$, $r =1$, $Q_1 = 1$, $\{y_1, y_2, y_3, y_4\}$, $r = 0$; $Q_0 = 1$, К связный

Можно выделить следующие четыре основных типа импульсных процессов:

I. Стабилизация процесса на одном уровне (порождаются структурами типа «цепь»).

II. Нарастание (убывание) процесса (структуры типа «неустойчивый цикл»), причем, нарастание может быть линейным, кусочно-линейным, с нарастающей амплитудой (расходящиеся импульсные процессы).

III. Импульсный колебательный процесс с постоянной амплитудой (порождаются устойчивыми циклами).

IV. Импульсный колебательный процесс с постоянной амплитудой колебаний около некоторой возрастающей линии (порождаются устойчивыми циклами, объединенными с цепью или с неустойчивыми циклами).

Таким образом, можно прийти к общему заключению, что проведение анализа когнитивных структур и импульсных процессов на них на качественном уровне (в смысле изучения общих тенденций на структурах, без придания численных значений показателям вершин, весам дуг, импульсам) предоставляет лицу, принимающему решение, значительное количество информации об изучаемом объекте и возможных тенденциях его развития. Это позволяет предлагать необходимые комбинации элементарных и простых структур, которые могут привести к желаемым результатам, т.е. обосновывать синтез структур с заданными свойствами развития ситуаций.

3 Схемы когнитивной методологии и интеллектуальной информационно-управляющей системы

На рис. 1 изображена в укрупненном виде схема разрабатываемой когнитивной методологии, объединяющей задачи анализа и синтеза.

Когнитивная методология поддерживается системой программных средств ПС КМ, разрабатываемых на ее основе [11].

Реализация процедур когнитивного анализа и синтеза ввиду большого количества вариантов исследования требует организации их целенаправленного перебора. Поэтому в схему когнитивного моделирования введены методы планирования эксперимента [21-23].

Процедуры принятия решений строятся на основе различных моделей задач принятия решений в условиях неопределенности – вероятностной, например [24], или в условиях противодействия, конфликта, компромисса [25]. В схему методологии когнитивного моделирования «встроен» эксперт, поскольку он может сам организовывать процессы анализа и синтеза сложной системы, пользуясь результатами анализа по ходу исследования.

Заключение

Когнитивный подход к исследованию слабоструктурированных проблем сложных систем, показавший свою эффективность, в настоящее время активно развивается в русле других когнитивных наук (когнитивная психология, когнитивная лингвистика, интеллектуальные системы и др.). Одним из его существенных достоинств является возможность интегрировать различные методы исследования сложных систем в единую систему. То есть происходит извлечение и порождение новых знаний об объекте, что составляет основу интеллектуальных систем. В РИУС реализован подход агентно-ориентированных вычислений, который удобен при построении сложных систем, так как позволяет произвести декомпозицию сложной задачи на ряд более простых и далее использовать принцип коллективного принятия решений при управлении группами автономных агентов.

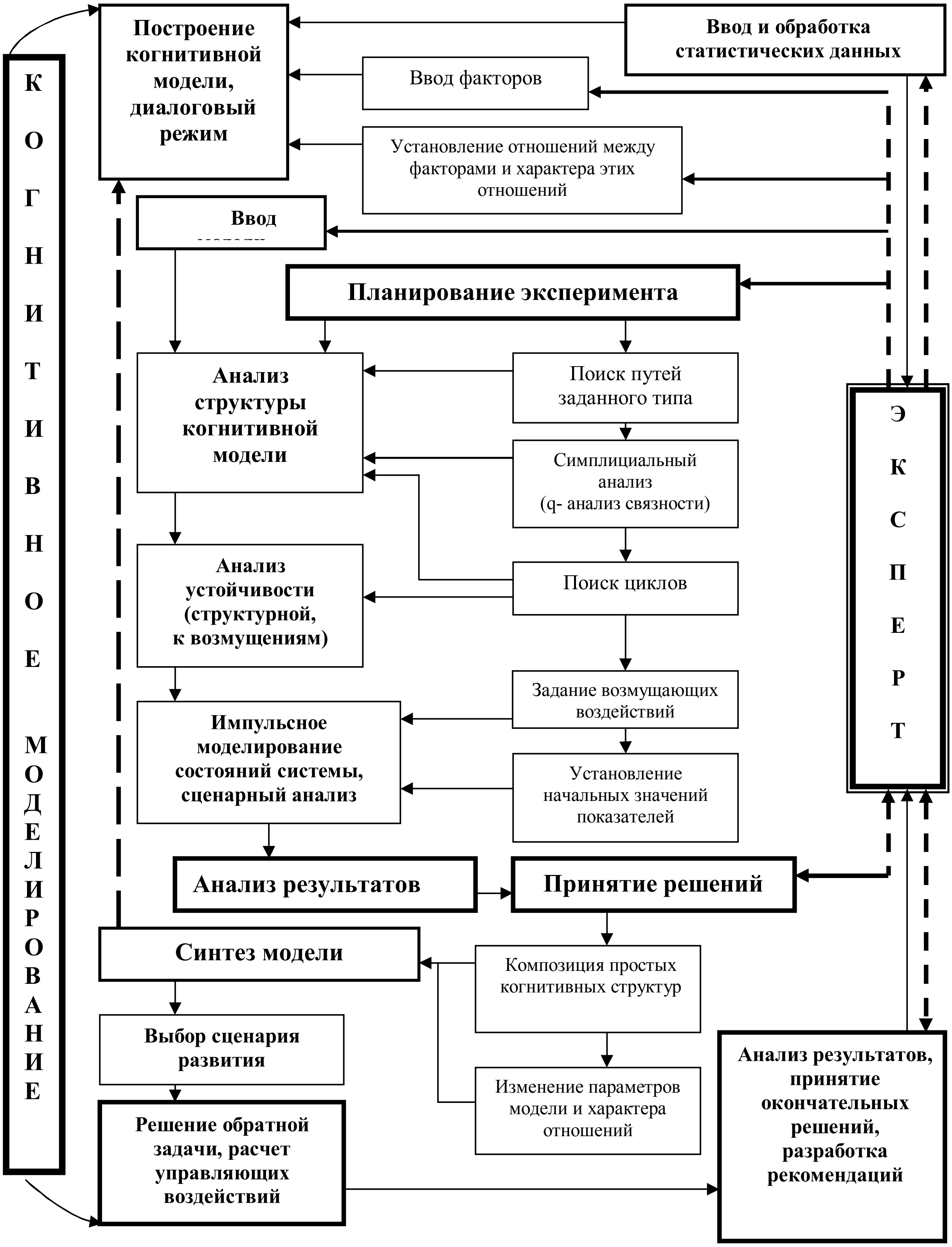


Рисунок 1 – Схема когнитивной методологии

На рис. 2 приведена укрупненная схема интеллектуальной распределенной информационно-управляющей системы (РИУС), которая является дальнейшим развитием системы [14].

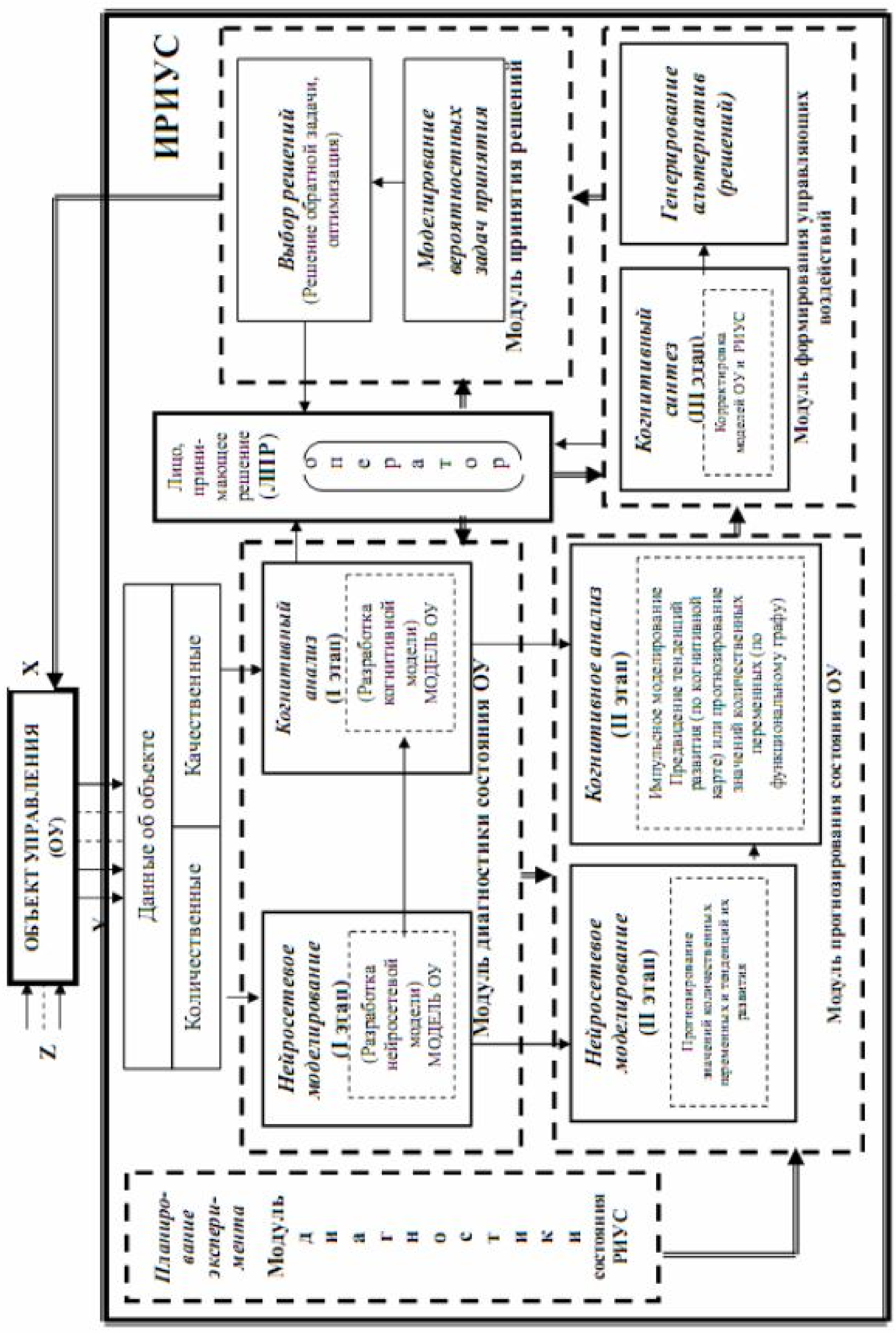


Рисунок 2 – Схема интеллектуальной распределенной информационно-управляющей системы

Литература

1. Касти Дж. Большие системы: связность, сложность и катастрофы / Касти Дж. – М. : Мир, 1982. – 216 с.
2. Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа : [учебник] / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб. : Изд. СПГГТУ, 1998. – 520 с.
3. Максимов В.И. Когнитивные технологии – от незнания к пониманию / В.И. Максимов // Сб. трудов 1-й Международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций», (CASC'2001). – М. : ИПУ РАН, 2001. – Т. 1. – С. 4-18.
4. Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем / [Кульба В.В., Кононов Д.А., Ковалевский С.С. и др.]. – М. : ИПУ РАН, 2002. – 122 с.
5. Кононов Д.А. Базисные понятия моделирования информационного управления в социальных системах / Д.А. Кононов, В.В. Кульба, Н. Шубин // Теория активных систем : труды Междунар. научно-практ. конф. – М. : СИНТЕГ, 2003. – Т. 2. – С. 125-129.
6. Проблемы обеспечения экономической безопасности сложных социально-экономических систем / [Кульба В.В., Ковалевский С.В., Кононов Д.А. и др.]. – М., 2000.
7. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений / Трахтенгерц Э.А. – М. : СИНТЕГ, 1998. – 376 с. – Серия «Информатизация России на пороге XXI века».
8. Поиск подходов к решению проблем / [Прангишвили И.В., Абрамова Н.А., Спиридонов В.Ф. и др.]. – М. : СИНТЕГ, 1999.
9. Человеческий фактор в управлении / [под ред. Н.И. Абрамовой, К.С. Гинсберга, Д.А. Новикова]. – М. : КомКнига, 2006. – 496 с.
10. Горелова Г.В. Когнитивный анализ и моделирование устойчивого развития социально-экономических систем / Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Гинис Л.А. – Ростов н/Д. : Изд-во Рост. ун-та, 2005. – 288 с.
11. Горелова Г.В. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход / Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Радченко С.А. – Ростов н/Д. : Изд-во РГУ, 2006. – 332 с.
12. Gorelova G.V. Experience in cognitive modeling of complex systems / Gorelova G.V., [et al.] // CUBERNETICS AND SYSTEMS 2010, Proceedings of the 20-th European Meeting on Cybernetics and Systems Research. – Austria, Vienna, 2010. – P. 220-223.
13. Горелова Г.В. О возможности анализа и синтеза структур отказоустойчивых распределенных информационно-управляющих систем, основанной на когнитивном подходе / Г.В. Горелова, Э.В. Мельник // Искусственный интеллект. – 2008. – № 3. – С. 638-648.
14. Горелова Г.В. Проектирование интеллектуальных распределенных информационно-управляющих систем / Г.В. Горелова, Э.В. Мельник, Я.С. Коровин // Тр. Междун. научно-техн. мультиконф. «Актуальные проблемы информационно-компьютерных технологий, мехатроники и робототехники. Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы». – Таганрог : Изд. ТТИ ЮФУ, 2009. – Т. 2. – С. 28-31.
15. Atkin R.H. Combinatorial Connectivies in Social Systems / R.H. Atkin // An Application of Simplicial Complex Structures to the Study of Large Organisations, Interdisciplinary Systems Research, 1997.
16. Barcelo H. Foundations of Connectivity Theory for Simplicial Complexes, Department of Mathematical Sciense / Barcelo H., Kramer X., Laubenbacher R., Weaver C. – New Mexico, 1998.
17. Mnukhin V. The Modular Homology of Inclusion Maps and Group Actions / V. Mnukhin // J. of Combinatorial Theory, S. A 74, 1996. – P. 285-300. – Article №. 0051.
18. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам / Робертс Ф.С. – М. : Наука, 1986.
19. Roberts F. Graph Theory and its Applications to Problems of Society, Society for Industrial and Applied Mathematics / Roberts F. – Philadelphia, 1978.
20. Каляев И.А. Распределенные системы планирования действий коллективов роботов / Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. – М. : Янус-К, 2002.
21. Горелова Г.В. Исследование отказоустойчивости на моделях средств поддержки управленческих решений в системах управления безопасностью методами планирования эксперимента / Г.В. Горелова, Э.В. Мельник // Тр. 15-й Междунар. конф. «Проблемы управления безопасностью сложных систем». – М. : Изд-во ИПУ РАН, 2007. – С. 75-78.
22. Горелова Г.В. Возможности планирования эксперимента при моделировании взаимодействия сложных систем на графах / Г.В. Горелова, Э.В. Мельник // Тр. 7-й Междунар. науч.-практ. мультиконф. «Управление большими системами – 2007». – М. : Изд-во ИПУ РАН. – С. 100-108.
23. Горелова Г.В. Планирование эксперимента при исследовании новых методов и алгоритмов организации распределенных вычислений / Г.В. Горелова, Э.В. Мельник // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2007. – № 10. – С. 49-56.
24. Буянов Б.С. Формализация вероятностных задач принятия решений в интеллектуальных системах на основе когнитивного подхода / Б.С. Буянов, В.А. Верба, Г.В. Горелова // Искусственный интеллект. – 2007. – № 3. – С. 147-158.
25. Горелова Г.В. Методология когнитивного теоретико-игрового моделирования для интеллектуального модуля интеллектуальных распределенных информационно-управляющих систем / Горелова Г.В., Горелова И.С. // Тр. Междунар. науч.-техн. мультиконф. «Актуальные проблемы информационно-компьютерных технологий, мехатроники и робототехники. Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы». – Таганрог : Изд. ТТИ ЮФУ, 2009. – Т. 2. – С. 25-28.

Г.В. Горєлова, Е.В. Мельник, Я.С. Коровін

Когнітивний аналіз, синтез, прогнозування розвитку великих систем в інтелектуальних РІКС

Представлені концептуальні основи когнітивної методології, яка може бути покладена в основу розробки інтелектуальних систем. Розглянуті можливості аналізу, синтезу, прогнозування розвитку ситуацій у великих системах (соціотехнічних, соціально-економічних тощо). Для практичної реалізації процедур когнітивного моделювання запропоновано використовувати відмовостійкі розподілені інформаційно-керувальні системи (РІКС), які дозволяють оперативно розв'язувати задачі великої складності.

Статья поступила в редакцию 01.07.2010.